

# トリクロロエチレン曝気装置の納入実績紹介

## An Air Stripping Plant for Removal of Trichloroethylene



(気)生産部 技術第1課  
服部 孝 弘  
Takahiro Hattori

Shinko Pantec delivered an air stripping plant in March 1996 to a wool textile manufacturer for removal of trichloroethylene in wastewater generated from the degreasing process. The plant is composed of multistage packed towers, enabling low running cost and high stripping efficiency. Presented in this paper is an outline of the air stripping plant, which has been operated satisfactorily since April 1996.

### まえがき

金属・繊維の脱脂洗浄等の目的に広く用いられてきた1, 1, 1-トリクロロエタンが、環境汚染問題の観点から製造中止となり、それに代わる溶剤として、トリクロロエチレンが広く用いられるようになってきている。排水中の、これら有機塩素系化合物溶剤の濃度は水質汚濁防止法で次のように規制されており、放流前に処理する必要がある。

物質名	特定地下浸透水	排水
1, 1, 1-トリクロロエタン	0.0005 mg/l	3 mg/l
トリクロロエチレン	0.002 mg/l	0.3 mg/l

これまで1, 1, 1-トリクロロエタンを使用していた工場では、トリクロロエチレンに切り換えるために、それに対応した排水処理装置が必要となってきている。

ここでは、納入したトリクロロエチレン含有排水の処理装置の一例を紹介する。

この納入先では、羊毛から加工された繊維の脂分を洗浄するために、これまで1, 1, 1-トリクロロエタンを用いていたが、この機会にトリクロロエチレンに切り換えることになった。これが排水中に含まれることになるため、

その処理装置を1996年3月に納入した。

揮発性有機塩素化合物を微量に含む水の処理として、第1表に示すように次のようなものが挙げられる。

- ・液分散型曝気法
- ・ガス分散型曝気法
- ・吸着法
- ・オゾン酸化法

水と空気を接触させる方式を曝気というが、曝気法には液、ガスのどちらを分散相にするかによって、液分散型かガス分散型かに分類することが出来る。ガス分散型は、液分散型に比べて設置面積は小さくてすむが、運転費が高価であり、処理性能がやや劣る。吸着剤を用いて処理する吸着法は、性能では優れているが建設費、運転費とも高価になる。オゾン酸化法では性能が劣る。総合的に判断して、液分散型曝気法が最も優れており、ここでは、その1つである空気吹込式液分散型充填方式を紹介する。

### 1. 揮発性有機物質の曝気放散の原理

揮発性溶質を含む希薄溶液が気相と平衡にあるときには、その濃度Cは気相内の溶質の分圧Pに比例するというヘンリーの法則がある。すなわち  $C=HP$ 、ただし、Hはヘンリー一定数である。ヘンリー一定数が高いものほど、液相か

第1表 各種有機塩素化合物除去方法比較  
Table 1 Removal method of organic chlorine compound

	Stripping by dispersion of liquid	Stripping by dispersion of gas	Adsorption	Oxidation by ozone
Flowsheet				
Efficiency	High	Middle	High	Low
Initial cost	Low	Low	High	High
Running cost	Low	High	High	Low
Installation area	Middle	Small	Large	Middle
Evaluation	◎	○	△	△

ら曝気処理しやすい。

その除去理論について述べる。充填塔内で単位時間に液相から気相に移動する液相中の溶質のモル数は液相中の溶質の減少速度に等しいことから次式が導かれる。

充填高さ,

$$Z = \frac{L_M}{Kx' \cdot a} \int_{x_2}^{x_1} \frac{x_{BM}}{(1-x)(x-x^*)} dx = H_{OL} \times N_{OL} \quad (1)$$

希薄溶液の場合には,

$$\text{平衡線 } y = mx^* \quad (2)$$

$$\text{操作線 } G_i(y_1 - y_2) = L_i(x_1 - x_2) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{移動単位数 } N_{OL} &= \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{x - x^*} \\ &= \frac{x_1 - x_2}{(x_1 - x_1^*) - (x_2 - x_2^*)} \ln \frac{x_1 - x_1^*}{x_2 - x_2^*} \quad (4) \end{aligned}$$

但し,

$Kx'$  : 相互拡散に対する液相基準総括物質移動係数 (—)

$a$  : 充填物の表面積 ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ )

$x_1$  : 原水中溶質のモル分率 (—)

$x_2$  : 処理水中溶質のモル分率 (—)

$y_1$  : 出口ガスのモル分率 (—)

$y_2$  : 入口ガスのモル分率 (—)

$x_1^*$  : 出口ガスと平衡な水中溶質のモル分率 (—)

$x_2^*$  : 入口ガスと平衡な水中溶質のモル分率 (—)

$H_{OL}$  : 液相基準移動単位高さ (m)

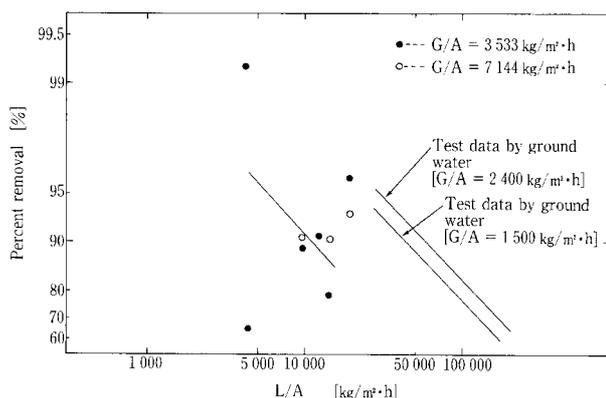
$m$  : 操作線の勾配

$G_i$  : 空気流量 (kg mol/h)

$$x_{BM} = \frac{(1-x^*) - (1-x)}{\ln \frac{1-x^*}{1-x}} \quad (\text{モル分率})$$

$L_M$  : 水流量 (揮発性有機物質を含む) (kg mol/h)

$L_i$  : 水流量 ( " を含まない) (kg mol/h)



第1図 パイロットテスト結果  
Fig. 1 Result of pilot test

第2表 トリクロロエチレン除去パイロットテスト結果  
Table 2 Result of pilot test for removal of trichloroethylene

Run No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Water flow rate [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	0.41	0.42	1.2	1.9	1.4	1.0	1.9	1.4	1.0
Air flow rate [ $\text{m}^3\text{N}/\text{min}$ ]	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	8.8	8.8	8.8
L/A [ $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	4305	4368	12479	19966	14975	9983	19966	14975	9983
G/A [ $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ]	3533	3533	3533	3533	3533	3533	7144	7144	7144
Inlet concentration [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	190	1.6	0.63	400	16	3.5	100	6.6	1.5
Outlet concentration [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	1.6	0.56	0.058	16	1.15	0.385	6.6	0.64	0.14
Percent removal [%]	99.2	65.0	90.8	96.0	78.1	89.0	93.4	90.3	90.7

第 3 表 地下水中トリクロロエチレン除去パイロットテスト結果

Table 3 Result of pilot test for removal of trichloroethylene in ground water

Run No.	1	2	3	4	5	6
L/A [kg/m <sup>2</sup> ・h]	31 200	62 400	124 700	31 200	62 400	199 600
G/A [kg/m <sup>2</sup> ・h]	1 500	1 500	1 500	2 400	2 400	2 400
Inlet concentration [mg/l]	111	114	122	102	86	89.5
Outlet concentration [mg/l]	7.8	18.2	36.5	4.2	9.2	26.8
Percent removal [%]	93.0	84.0	70.1	95.9	89.3	70.1

第 4 表 テスト機及び実機仕様

Table 4 Specifications of pilot test plant and commercial plant

	Test plant	Commercial plant
Water flow rate [m <sup>3</sup> /h]	0.46	5
Air flow rate [m <sup>3</sup> N/min]	4.4	48
Tower diameter [mm]	350	1 150
Height of packing [mm]	3 000	12 000
Percent removal [%]	94.9	99.9941

## 2. 事前テスト

実装置設計に当たり、テスト装置(φ350 mm×5 000 mm<sup>H</sup>)を納入先に持ち込み、設計に必要なデータ採取を行った。テスト装置(充填塔)の外観を写真 1 に示す。充填材としては当社製充填材(スーパーパック 9P)を使用した。充填塔の上部よりトリクロロエチレン含有排水を流下させ、同時に下部よりファンで空気を吹き込んで充填材部分で排水が曝気処理され、充填塔下部水槽より処理された排水が得られる。流入する排水の水量及び吹込み空気量を変えて、種々の条件での排水の入口、出口でのトリクロロエチレンの濃度を測定した。テスト結果の一部を第 2 表に示す。重量換算した水量、空気量を充填塔の断面積で割った値をそれぞれ L/A、G/A とした。

第 2 表のデータより、縦軸に除去率、横軸に L/A をとってグラフにしたものが第 1 図である。第 1 図より、今回テストした範囲においては、除去率は G/A の値に影響されないと見える。従って、実装置の設計ではファン容量を小さくするため、G/A が小さい方のデータを用いることにした。

また、データがややばらついているが、過去に当社にて

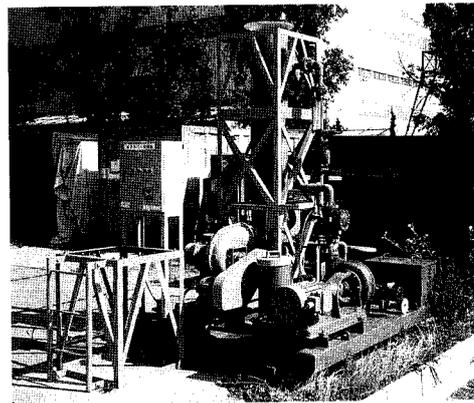


写真 1 テスト装置外観

Photo. 1 Outside view of the test plant

測定された地下水でのテストで得られたデータ(第 3 表にその 1 部を示す)を考慮し、第 1 図にその傾向も同様に直線として表し(右側の 2 本)、第 1 図の通り、それらと同じ傾きになるよう直線を引いた。

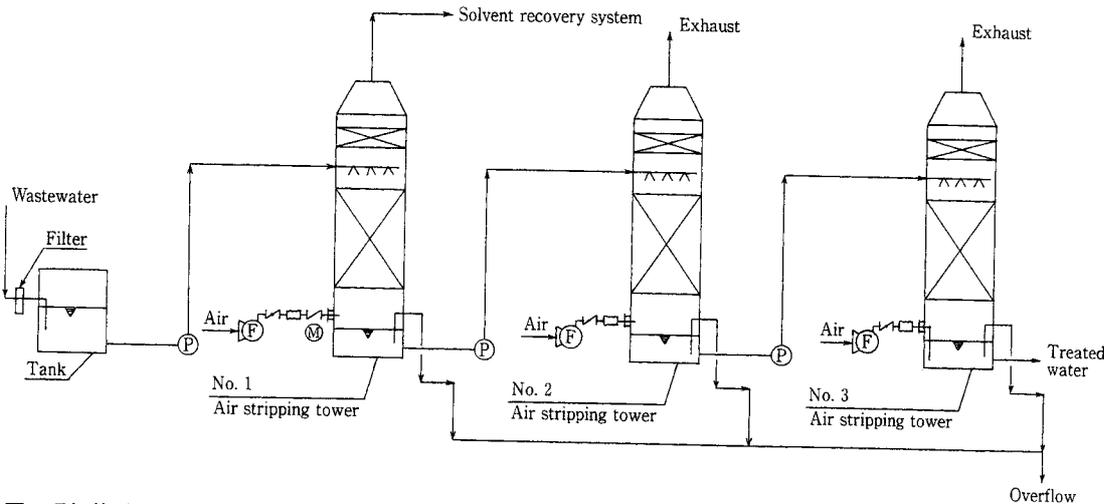
この結果より、実際の処理(処理水量: 5 m<sup>3</sup>/h、処理前濃度: 320 mg/l、処理後濃度: 0.019 mg/l、除去率: 99.9941%)に必要な仕様を、第 4 表の通り決定した。すなわち、実機にて処理すべき水量から、L/A がテスト時と同じになるように実機の塔径を決定する。空気量についても同様に、テスト時の G/A と同じ値で決定する。さらに、その条件でのテスト時の除去率から、実機で必要な除去率を得るための充填材高さを、テスト機の充填材高さが 3 m であることから、(1)~(4)式を用いて算出し決定する。

## 3. 装置の概要

フローシート及び曝気塔の概略図をそれぞれ第 2、3 図に示す。第 4 表より必要充填高さは 12 m であるが、充填材の強度及び液分散の影響を考慮して、4 m×3 塔直列方式とした。第 2 図に示すとおり、繊維洗浄装置から排出される排水(トリクロロエチレン含有排水)は、毛くず等が含まれるため、フィルターを通してから、原水貯槽に貯められる。ポンプにより曝気塔上部に流入した排水は、スプレーノズルにより、塔内に均一に分散される。第 3 図の通り、それぞれの曝気塔内には、1 塔当たり 4 m の高さの充填材(スーパーパック 9P)が充填されている。曝気塔の下からファンにより空気が導入され、充填材内において、上部から流下する排水と充分な気液接触がなされる。その間に排水中のトリクロロエチレンが気相側に拡散され、排水中のトリクロロエチレンの濃度が下がる。曝気塔上部のガス出口部にはミストセパレーター(スーパーパック 6P)を取り付けており(200 mm<sup>H</sup>)、排水がミストとして塔外へ飛散しないようになっている。曝気塔下部水槽に貯まった排水は、第 2 図に示すとおり、ポンプにより順次次の曝気塔に移送されて同様の処理がなされ、No. 3 曝気塔下部にて所定の濃度まで処理される。

それぞれのポンプは、それぞれの水槽のレベル計と連動しており、吸い込み側の水位、送り込み側の水位を監視しながら常に一定の範囲の水位を保つよう、ポンプを自動 ON-OFF させる。

この操作により、それぞれの曝気塔からはトリクロロエ



第2図 曝気装置フローシート  
Fig. 2 Flowsheet of the air stripping plant

チレン含有ガスが排出されることになるが、本設備の場合、No. 1 曝気塔から排出されるガスは比較的高濃度であるため、繊維状活性炭を用いた溶剤回収装置に導入し、回収、再利用している。

装置停止時には、曝気塔下部水槽の排水の臭気が、ファン吸込口を逆流して外部に漏れる可能性があるため、排水濃度の比較的高い No. 1 曝気塔については、ファン吐出側ダクトに自動ダンパーを取り付け、ファン停止時にはダンパーが閉となるようにしている。

装置全体は自動シーケンスを組み込んでいるため、押しボタンスイッチ1つで、これらの一連の動作を含めた自動運転の起動、停止を行うことができる。

装置全体の配置図を第4図に、外観を写真2に示す。

#### 4. 機器仕様

##### ・曝気塔：3基

型番	VSP-115 (0)
寸法	φ1 150 mm × 7 800 mm <sup>H</sup>
主要材質	
本体	SS400 (塗装処理)
充填材	PP
ミストセパレーター	PP
散水管	SUS304
スプレーノズル	PP
梯子及び歩廊	SS400 (塗装処理)

##### ・原水貯槽：1基

寸法	φ2 000 mm × 3 800 mm <sup>H</sup>
材質	SUS304

##### ・オーバーフロー受槽：1基

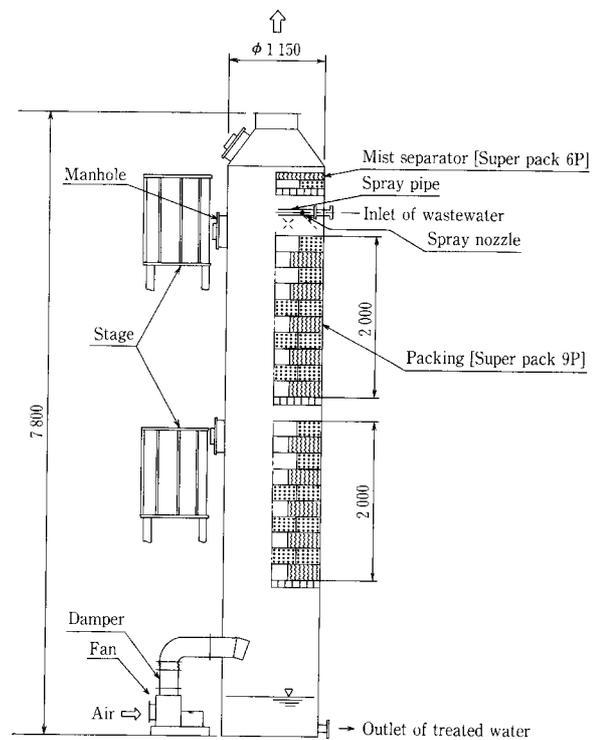
寸法	φ1 200 mm × 1 000 mm <sup>H</sup>
材質	SUS304

##### ・ファン：3台

仕様	48 m <sup>3</sup> N/min × 30 mmAq × 1.5 kW
材質	SS400 (塗装処理)

##### ・ポンプ：3台

仕様	5 m <sup>3</sup> /h × 20 mAq × 1.5kW
----	--------------------------------------



第3図 曝気塔外形図  
Fig. 3 Outside view of the air stripping tower

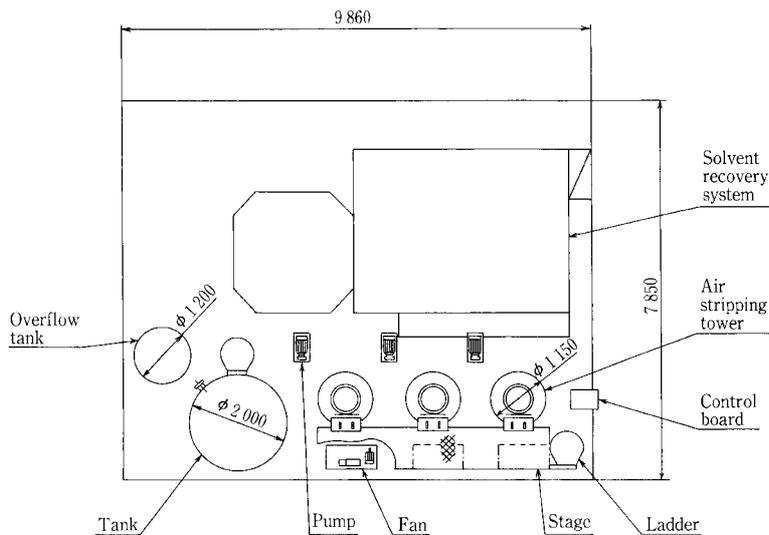
材質 SCS13

##### ・制御盤：1面

仕様 600 mm<sup>L</sup> × 500 mm<sup>W</sup> × 1 950 mm<sup>H</sup>

#### 5. 運転結果

1996年4月に実液を通し、性能テストを行った。原水量及び空気量が設計条件下において原水貯槽内及びNo. 3 曝気塔出口での排水中のトリクロロエチレン濃度を測定した。その結果を第5表に示す。処理後の濃度は設計条件を満足



第4図 全体配置図  
Fig. 4 Overall layout drawing



写真2 曝気装置外観  
Photo. 2 Outside view of the air stripping plant

第5表 性能テスト結果  
Table 5 Result of performance test

	Design condition	Run No.1	Run No.2	Run No.3
Inlet concentration [mg/l]	320	73	78	106
Outlet concentration [mg/l]	0.019	0.0002	0.0005	0.0013
Percent removal [%]	99.9941	99.9997	99.9994	99.9988

している。処理前の濃度が設計条件に比べてやや低くなっているが、除去率も設計条件を満足しており、高濃度の排水に対しても、同様に性能を満足すると考えられる。

本装置は、別工場にも同様の装置を同時期に納入しており、その性能テスト結果を第6表に示す。出口濃度条件が低いため、4塔直列方式とした以外は全く同じ仕様である。第5表と同様に、処理後濃度については性能を満足しており、除去率についてもほぼ性能を満足している。

第6表 性能テスト結果  
Table 6 Result of performance test

	Design condition	Run No.1	Run No.2
Inlet concentration [mg/l]	320	73	150
Outlet concentration [mg/l]	0.002	0.0006	0.0007
Percent removal [%]	99.9994	99.9992	99.9995

前述の結果から、当初の設計条件を満足していることが確認された。

### むすび

運転費が安く、排水を効率よく処理出来る本装置は、このような有機塩素系化合物を含む排水処理設備として有効である。

本稿がユーザー各位の排水処理装置を選定される際の参考になれば幸いである。